

ПРИКЛАДНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

ВЛИЯНИЕ ПОВЫШЕНИЯ УРОВНЯ МИРОВОГО ОКЕАНА НА АВИАЦИОННЫЕ ПЕРЕВОЗКИ ПассаЖИРОВ И ГРУЗОВ В ЕВРОСОЮЗЕ

Л.В. Сорокин

Российский университет дружбы народов
ул. Миклухо-Маклая, 6, Москва, Россия, 117198

Ж. Монделло

Университет Ниццы — София Антиполис
ул. Альбера Эйнштейна, 250, Вальбонн София Антиполис, 06560

Для стационарных значений подъема уровня Мирового океана (от 1 до 65 м) проведена оценка затопления инфраструктуры аэропортов. Установлено, что сеть аэродромов, расположенных близко к береговой линии, высокочувствительна к повышению уровня Мирового океана. Так, повышение уровня Мирового океана на 1 м приведет к затоплению семи аэропортов (0,08%), сокращению перевозки пассажиров на 3,5%, а грузов и почты на 9,9%. Дальнейшее повышение уровня Мирового океана на 6 м (соответствует достигнутому в настоящее время превышению средней температуры на 0,8 °С относительно значения в эпоху доиндустриального развития) приведет к затоплению 80 аэропортов (9,2%) и сокращению трафика авиаперевозок на 13,6%. Стратегия по адаптации к изменению климата Евросоюза предусматривает рост средней температура воздуха Земли на 2 °С, что в долгосрочной перспективе приведет к повышению уровня Мирового океана на 15 м, это соответствует затоплению 172 аэропортов (19,9%), сокращению перевозок пассажиров на 20,4% и грузов на 14,7%. Стратегия Евросоюза по адаптации к изменению климата не рассматривает возможности повышения уровня Мирового океана на отметки выше 1 м, что в ближайшем будущем может привести к катастрофическим экономическим потерям.

Ключевые слова: уровень Мирового океана, изменение климата, глобальное потепление, наводнение, экономический ущерб, авиационные перевозки, перевозки пассажиров, перевозки грузов, инфраструктура аэропортов, авиация.

В настоящее время существует два возможных сценария изменения климата Земли: глобальное потепление или начало нового ледникового периода. В данной работе мы рассматриваем влияние глобального потепления и вызванное им повышение уровня Мирового океана на инфраструктуру аэропортов и объемы авиаперевозок пассажиров и грузов в Евросоюзе. Для проведения отраслевого анализа необходимы статистические данные по авиаперевозкам и специализирован-

ная информация по размещению и инфраструктуре аэропортов. Так, статистическая информация по авиаперевозкам получена из базы данных Евростат [1], а необходимая информация по аэропортам — из базы данных [2]. Кроме того, нужно определить значения повышения уровня Мирового океана при росте средней температуры на планете.

В нашей работе [3. С. 68] получена связь между изменением средней температуры воздуха у поверхности планеты по сравнению с эпохой доиндустриального развития и стационарным уровнем Мирового океана, к которому он будет стремиться в ближайшем будущем. Таким образом, предоставляется возможность рассчитать повышение средней температуры воздуха у поверхности планеты и соответствующий ей стационарный уровень Мирового океана.

Изменение уровня Мирового океана. Существуют различные оценки по определению возможного уровня потепления климата от $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $5,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ и более [4], однако в этих оценках нет однозначной связи между изменением температуры и повышением уровня Мирового океана.

В принятой на данный момент времени краткосрочной (до 2100 г.) концепции ЕС адаптации к глобальному потеплению предусмотрен рост уровня Мирового океана на 1 м при повышении температуры на $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ [5].

Однако если считать, что в настоящее время наблюдается потепление климата и средняя температура у поверхности Земли увеличилась на $0,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ [4] по сравнению со значением в эпоху доиндустриального развития нашей цивилизации, то неизбежно начнется повышение уровня Мирового океана. В настоящее время уже считается достигнутым значение в 0,21 м [4] по сравнению с уровнем эпохи доиндустриального развития.

Используя прогнозируемые значения для изменения глобальной средней температуры на планете и ее связь [3. С. 68] со стационарным значением, к которому будет стремиться уровень Мирового океана в будущем, можно определить необходимые высоты, на которых инфраструктура аэропортов может быть подвергнута затоплению.

Так, для выполнения программы ЕС и подготовки инфраструктуры к подъему уровня Мирового океана на 1 м необходимо ограничить рост средней температуры на Земле на уровне в $0,133\text{ }^{\circ}\text{C}$ [3. С. 69]. Однако в настоящий момент считается пройденной величина повышения средней температуры воздуха на планете в $0,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ [4], что уже в ближайшем будущем должно привести к подъему уровня Мирового океана на 6 м [3. С. 69].

Если допустить, что человечество не сможет остановить рост средней температуры на Земле и будет достигнут рубеж в $2\text{ }^{\circ}\text{C}$, то это приведет в долгосрочной перспективе к неизбежному повышению уровня Мирового океана на 15 м [3. С. 69].

Максимальный уровень, на который может подняться Мировой океан, по разным источникам составляет от 62 м до 65 м [6]. Подобное событие может произойти в том случае, если будет растоплен весь лед на планете Земля. Однако за прошедшие 1,8 миллиона лет это не случилось, а максимальное повышение уровня Мирового океана составило 9,5 м [7].

Методы исследования. В работе использован аппарат линейной регрессии для оценки верхней границы подъема уровня Мирового океана при фиксированном изменении средней температуры воздуха на планете в долгосрочной перспективе.

Определение границ для стационарного состояния климатической системы в ответ на фиксированное изменение метеорологических параметров позволяет проверить гипотезы для оценки возможного ущерба для инфраструктуры аэропортов Евросоюза и оценить эффективность экономических стратегий по адаптации к изменению климата.

Отраслевой анализ уязвимости инфраструктуры аэропортов и изменения объемов авиаперевозок пассажиров и грузов в Евросоюзе в зависимости от повышения уровня Мирового океана позволяет выявить условия, при которых их дальнейшая адаптация к изменению климата уже невозможна и будет необходимо принимать решения о строительстве новых аэропортов в районах не подверженных затоплению.

Источники данных. *Евростат (Eurostat) — Статистическая служба Европейского союза.* База данных Евростат [1] за 2013 г. содержит статистические данные по 865 аэропортам. Обширная информация базы охватывает число рейсов; объемы перевозки пассажиров, грузов и почты; места на борту; внутренние и международные авиаперевозки; годовые и ежемесячные отчеты; а также другую детальную информацию.

База данных аэропортов. Из базы данных аэропортов [2] выбраны 865 аэропортов, находящихся на территории Европейского союза, из них 146 — больших, 458 — средних, 163 — малых, 15 — вертолетных площадок, 11 — закрыты и 72 — неизвестной принадлежности. База данных содержит подробную информацию о положении и длине взлетно-посадочных полос (ВПП), их географических координатах и высоте ВПП над уровнем моря, а также текстовую информацию с международными кодами, названиями и типами аэропортов.

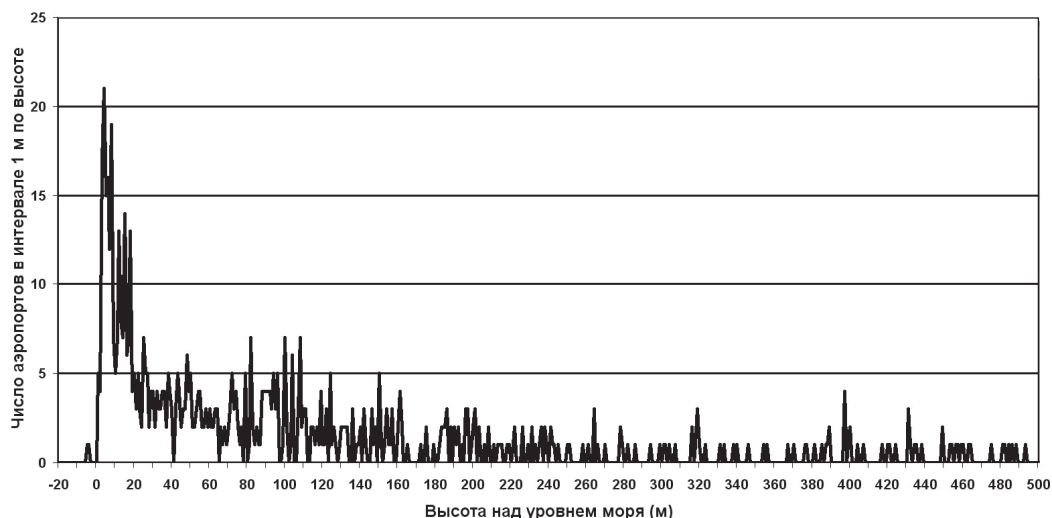


Рис. 1. Удельная плотность (в интервале 1 м) распределения числа аэропортов по высоте над уровнем Мирового океана

Источник: составлено авторами по данным Евростат [1] и базы данных аэропортов [2].

Аэродромная сеть размещена крайне неравномерно; так, в непосредственной близости от береговой линии ее удельная плотность выше, а с увеличением высоты над уровнем моря наблюдается тенденция к снижению числа аэропортов. Из рисунка 1 хорошо видно, что максимум зависимости соответствует высоте в 4 м, где находится 21 аэропорт. Так, в непосредственной близости от береговой линии на высотах до 15 м расположено 20% аэропортов. Половина всех аэропортов в Евросоюзе находится на высотах ниже 95 м. В зоне потенциального затопления — 65 м — размещено 40,8% аэродромной сети.

Отраслевой анализ. Обычно отраслевой анализ авиаперевозок в Евросоюзе проводится на примере 2010 г. Это связано с вариацией трафика авиаперевозок во времени. Так, в 2010 г. объемы перевозок достигли своего локального максимума. Дальнейшее снижение потоков авиаперевозок вызвано кризисными явлениями и поддержкой Евросоюзом санкций США против России.

Однако наполнение базы данных Евростат информацией об авиаперевозках постоянно улучшается и уже к 2013 г. число аэропортов, отраженных в базе, выросло. Статистические данные за 2014 г. еще не полностью включены в базу, что связано с задержкой в обработке данных. Таким образом, для нашего отраслевого анализа выбран 2013 г., как наиболее представительный.

Основной объем авиаперевозок в Евросоюзе составляют перевозки пассажиров. В таблице 1 представлены данные по типам авиаперевозок (внутренние и международные), а также по видам транспортных узлов. Из таблицы 1 видно, что 67,29% всех авиаперевозок пассажиров приходилось на международные авиаперевозки большими аэропортами, а доля их внутренних авиаперевозок составляет 20,56%, что определяет лидирующую роль больших транспортных узлов в 87,85%. Средние аэропорты перевозят всего 11,72% пассажиров, а доля малых аэропортов и других авиаперевозчиков незначительна.

Таблица 1

Авиаперевозки пассажиров в Евросоюзе за 2013 г. (%)

	Внутренние авиаперевозки	Международные авиаперевозки	Всего пассажиров на борту
Большие аэропорты	20,561	67,292	87,853
Средние аэропорты	5,376	6,349	11,725
Малые аэропорты	0,026	0,017	0,042
Закрытые	0,005	0,001	0,006
Нет данных	0,031	0,343	0,374
Итого:	25,998	74,002	100,000

Источник: составлено авторами по данным Евростат [1].

Данные об авиаперевозках грузов и почты в Евросоюзе представлены в табл. 2. Основной объем грузопотока проходит через большие аэропорты 95,67%, а на долю средних аэропортов приходится всего 4,05% от общего трафика.

Данные по перевозкам пассажиров и грузов вертолетами, дирижаблями и морской авиацией не представлены, так как они незначительны по сравнению с крупными авиаперевозчиками. За 2013 г. несколько малых аэропортов было закрыто (табл. 1 и 2), но их вклад в общий поток крайне мал. Однако в базе данных аэро-

портов [2] есть объекты, принадлежность которых не определена, так не удалось установить 0,374% пассажиров и 0,266% грузов и почты.

Таблица 2

Авиаперевозки грузов и почты в Евросоюзе за 2013 г. (%)

	Внутренние авиаперевозки	Международные авиаперевозки	Всего грузов и почты на борту
Большие аэропорты	5,713	89,961	95,674
Средние аэропорты	1,104	2,949	4,052
Малые аэропорты	0,007	0,000	0,008
Закрытые	0,000	0,000	0,000
Нет данных	0,011	0,255	0,266
Итого:	6,835	93,165	100,000

Источник: составлено авторами по данным Евростат [1].

Таким образом, для нашего анализа наиболее важным является учет больших и средних аэропортов, на долю всех других видов авиаперевозчиков приходится менее 1%.

Существенным моментом является тот факт, что инфраструктура больших и средних аэропортов находится в непосредственной близости к крупным городам, большая часть которых расположена близко к береговой линии.

Результаты анализа влияния повышения уровня Мирового океана на сокращение потоков авиаперевозок пассажиров, грузов и почты в Евросоюзе представлены в табл. 3 для всех 865 аэропортов, находящихся в базе Евростат. Будем считать, что при повышении уровня Мирового океана географическое распределение потоков пассажиров и грузов будет соответствовать положению на 2013 г., а трафик аэропортов подлежащих затоплению будет вычитаться из общего объема. Первыми будут затоплены два больших аэропорта, которые находятся на уровне –4 м относительно уровня Мирового океана.

Таблица 3

Влияние повышения уровня Мирового океана на сокращение потоков авиаперевозок пассажиров, грузов и почты в Евросоюзе по сравнению с данными Евростат за 2013 г.

Климат		Аэропорты			Рейсы	Пассажиры			Грузы и почта		
Превышение температуры, °С	Уровень Мирового океана, м	Число аэропортов в интервале высот 1 м	Число аэропортов ниже уровня Мирового океана	Аэропорты, %	Авиаперелеты, %	Всего пассажиров на борту, %	Из них внутренние авиаперевозки, %	Из них международные авиаперевозки, %	Всего грузов и почты на борту, %	Из них внутренние авиаперевозки, %	Из них международные авиаперевозки, %
0,00	0	0	2	0.2	3.1	3.5	0.0	3.4	9.9	0.0	9.9
0,13	1	5	7	0.8	3.1	3.5	0.0	3.4	9.9	0.0	9.9
0,27	2	4	11	1.3	3.4	3.9	0.1	3.8	10.0	0.0	10.0
0,40	3	17	28	3.2	4.4	4.8	0.3	4.5	10.4	0.0	10.4
0,53	4	21	49	5.7	8.0	8.3	1.5	6.8	11.6	0.2	11.3
0,67	5	15	64	7.4	11.0	11.2	2.6	8.6	12.6	0.4	12.2
0,80	6	16	80	9.2	13.9	13.6	3.1	10.5	13.6	0.5	13.1
0,93	7	12	92	10.6	14.6	14.4	3.4	11.0	13.7	0.5	13.2
1,07	8	19	111	12.8	16.1	15.9	4.0	11.9	13.9	0.7	13.2
1,20	9	7	118	13.6	17.6	17.7	4.5	13.2	14.0	0.7	13.3
1,33	10	5	123	14.2	17.9	17.8	4.7	13.2	14.0	0.8	13.3

Климат		Аэропорты			Рейсы	Пассажиры			Грузы и почта		
Превышение температуры, °С	Уровень Мирового океана, м	Число аэропортов в интервале высот 1 м	Число аэропортов ниже уровня Мирового океана	Аэропорты, %	Авиаперелеты, %	Всего пассажиров на борту, %	Из них внутренние авиаперевозки, %	Из них международные авиаперевозки, %	Всего грузов и почты на борту, %	Из них внутренние авиаперевозки, %	Из них международные авиаперевозки, %
1,47	11	7	130	15.0	18.7	18.3	4.8	13.5	14.4	0.8	13.6
1,60	12	13	143	16.5	19.6	19.1	5.3	13.8	14.5	0.9	13.6
1,73	13	8	151	17.5	20.0	19.4	5.4	13.9	14.6	0.9	13.6
1,87	14	7	158	18.3	20.2	19.5	5.5	14.0	14.6	0.9	13.6
2,00	15	14	172	19.9	21.4	20.4	5.9	14.5	14.7	1.1	13.7
2,13	16	6	178	20.6	21.6	20.4	6.0	14.5	14.7	1.1	13.7
2,27	17	7	185	21.4	23.3	22.2	6.4	15.8	14.9	1.1	13.8
2,40	18	13	198	22.9	24.0	22.8	6.7	16.1	15.0	1.1	13.8
2,53	19	4	202	23.4	24.0	22.8	6.8	16.1	15.0	1.1	13.8
2,67	20	5	207	23.9	24.7	23.5	7.3	16.2	15.0	1.1	13.9
2,80	21	3	210	24.3	24.8	23.7	7.4	16.3	15.2	1.3	14.0
2,93	22	5	215	24.9	25.0	23.8	7.5	16.3	15.2	1.3	14.0
3,07	23	3	218	25.2	25.8	24.6	7.7	16.9	15.6	1.5	14.1
3,20	24	2	220	25.4	26.4	25.2	7.9	17.3	15.7	1.6	14.1
3,33	25	7	227	26.2	26.9	25.6	8.0	17.6	15.7	1.6	14.2
4,00	30	4	247	28.6	31.2	31.1	8.8	22.3	25.4	1.6	23.8
4,67	35	4	263	30.4	31.9	31.8	9.1	22.6	25.5	1.7	23.8
5,33	40	3	281	32.5	34.5	34.1	9.9	24.2	26.1	1.8	24.3
6,00	45	2	295	34.1	39.4	38.7	11.0	27.6	27.4	2.1	25.3
6,67	50	5	316	36.5	43.3	42.9	12.5	30.4	27.6	2.2	25.4
7,33	55	4	331	38.3	46.7	46.7	13.5	33.2	29.3	2.3	27.0
8,00	60	3	343	39.7	48.6	48.4	13.6	34.8	32.0	2.4	29.6
8,67	65	0	353	40.8	50.8	51.2	13.9	37.3	32.6	2.4	30.2

Источник: составлено авторами по данным Евростат [1] и базы данных аэропортов [2].

В данной публикации табл. 3 представлена в сокращенном виде, так, до высоты в 25 м показаны данные с шагом в 1 м, а в интервале 25—65 м представлены выборочные значения через каждые 5 м.

В таблице 3 расчет превышения средней температуры воздуха у поверхности Земли ΔT_s для стационарного значения уровня Мирового океана SL_{st} над соответствующим значением в эпоху доиндустриального развития произведен по формуле

$$\Delta T_s = \frac{SL_{st}}{7,5},$$

где $SL_{st} \geq 0$.

Выводы. Адаптация к потеплению климата возможна до уровня 1 м, что соответствует приемлемым экономическим затратам на поддержание существующей инфраструктуры. Так, повышение уровня Мирового океана на 1 м приведет к затоплению семи аэропортов (0,08%) и сокращению перевозки пассажиров на 3,5%, а грузов и почты на 9,9% (табл. 3). Подобные изменения в трафике авиапе-

ревозок не вызовут для отрасли катастрофических последствий. Однако необходимо отметить, что в настоящее время стратегии адаптации к повышению уровня Мирового океана выше 1 м не существует.

Дальнейшее повышение уровня Мирового океана на 6 м [3. С. 69] (соответствует достигнутому в настоящее время превышению средней температуры на 0,8 °С [4] относительно значения в эпоху доиндустриального развития) приведет к затоплению 80 аэропортов (9,2%) и сокращению трафика авиаперевозок на 13,6% (табл. 3). Подобные потери с экономической точки зрения считаются неприемлемыми и могут привести к многочисленным банкротствам авиакомпаний и к коллапсу всего сектора авиаперевозок.

Стратегия по адаптации к изменению климата Евросоюза предусматривает рост средней температура воздуха Земли на 2 °С [5], что в долгосрочной перспективе приведет к повышению уровня Мирового океана на 15 м [3. С. 69]; это соответствует затоплению 172 аэропортов (19,9%), сокращению перевозок пассажиров на 20,4% и грузов на 14,7% (см. табл. 3). Стратегия Евросоюза по адаптации к изменению климата не рассматривает возможности повышения уровня Мирового океана на отметки выше 1 м, что в ближайшем будущем может привести к катастрофическим экономическим потерям.

В случае реализации худшего сценария потепления климата на 8,67 °С на планете растает весь лед и произойдет повышение уровня Мирового океана на 65 м [6], что может привести к потере 40,8% всех аэропортов в Евросоюзе, двукратному сокращению авиарейсов и потока пассажиров, а также к снижению объемов грузов и почты на 32,6% (см. табл. 3).

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Eurostat. — URL: http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/statistics/search_database
- [2] OurAirports. — URL: <http://ourairports.com/data/>
- [3] *Сорокин Л.В., Монделло Ж.* Цена политики адаптации к изменению климата // Вестник Российского университета дружбы народов, серия Экономика. 2013. №55. С. 63–72., ISSN 0869-8732, — URL: <http://elibrary.ru/item.asp?id=21074092>
- [4] Intergovernmental Panel on Climate (2012) Chapter 3: Changes in Climate Extremes and their Impacts on the Natural Physical Environment in Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation.
- [5] An EU Strategy on adaptation to climate change. Impact Assessment Part 2. 16/04/2013 — SWD (2013) 132. — URL: http://ec.europa.eu/clima/policies/adaptation/what/docs/swd_2013_132_2_en.pdf
- [6] National Geographic. — URL: <http://ngm.nationalgeographic.com/2013/09/rising-seas/if-ice-melted-map>
- [7] Makiko Sato & James Hansen. Updating the Climate Science. What Path is the Real World Following? Columbia University Earth Institute. — URL: <http://www.columbia.edu/~mhs119/>

LITERATURA

- [1] Eurostat. — URL: http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/statistics/search_database
- [2] OurAirports. — URL: <http://ourairports.com/data/>
- [3] *Sorokin L.V., Mondello G.* The Cost of Adaptation for Climate Change // Bulletin of Peoples' Friendship University of Russia, Series Economics. No 55, 2013. P. 63–72., ISSN 0869-8732, In Russian. — URL: <http://elibrary.ru/item.asp?id=21074092>

- [4] Intergovernmental Panel on Climate (2012) Chapter 3: Changes in Climate Extremes and their Impacts on the Natural Physical Environment in Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation.
- [5] An EU Strategy on adaptation to climate change. Impact Assessment Part 2. 16/04/2013 — SWD (2013) 132. — URL: http://ec.europa.eu/clima/policies/adaptation/what/docs/swd_2013_132_2_en.pdf
- [6] National Geographic. — URL: <http://ngm.nationalgeographic.com/2013/09/rising-seas/if-ice-melted-map>
- [7] Makiko Sato & James Hansen. Updating the Climate Science. What Path is the Real World Following? Columbia University Earth Institute. — URL: <http://www.columbia.edu/~mhs119/>

THE IMPACT OF THE SEA LEVEL RISE ON THE EUROPEAN UNION PASSENGER AND FREIGHT TRANSPORT BY AIR

L.V. Sorokin

Peoples' Friendship University of Russia
Miklukho-Maklaya str., 6, Moscow, 117198

G. Mondello

University of Nice Sophia Antipolis
Albert Einstein str., 250, Valbonne Sophia Antipolis, 06560

An estimation of airport infrastructure flooding has been done for the stationary levels of the sea-level rise (from 1 m to 65 m). It was found that airport network is situated close to the coastline and it is very sensitive to the sea-level rise. So the sea-level rise up to 1 m will lead to flooding of 7 airports (0,08%), and reduction of air traffic (passenger 3,5%, freight 9,9%). Further sea-level rise up to 6 m (in the present time the Global Surface Air Temperature is 0,8 °C higher then pre-industrial level) will lead to flooding of 80 airports (9,2%) and 13,6% air traffic reduction. The EU Strategy on adaptation to climate change assume that the global warming must be limited to below 2 °C above pre-industrial level, that within some ages will lead to the sea-level rise up to 15 m, this corresponds to flooding of 172 airports (19,9%), and reduction of air traffic (passenger 20,4%, freight 14,7%). The EU Strategy on adaptation to climate change does not assume the sea-level rise above 1 m, so in the near future that could lead to the huge economic losses.

Key words: sea level rise, climate change, global warming, economic losses, flooding, air transport, passenger traffic, freight traffic, airport infrastructure, aviation.